

**Untersuchung zur Möglichkeit
intrathekaler Ultraschall-Diagnostik
am Phantom und an Leichen**

Hans-Helmut Greifenhagen

1977



Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41555615_0107

Aus der Neurologischen Klinik des Klinikums
Großhadern der Ludwig-Maximilians-Universität München
Direktor: Prof. Dr. med. A. Schrader

Untersuchung zur Möglichkeit intrathekalen
Ultraschall - Diagnostik am Phantom und an Leichen

INAUGURAL - DISSERTATION
Zur Erlangung der Doktorwürde in der Zahnheilkunde
an der Ludwig-Maximilians-Universität zu München

Vorgelegt von
Hans-Helmut Greifenhagen
zu
Uelzen / Niedersachsen
München, im März 1976

Mit Genehmigung des Fachbereichs Medizin der Universität München

Berichterstatter: Priv. Doz. Dr. med. F. Lähoda

Mitberichterstatter: Prof. Dr. med. A. Schrader

Dekan: Prof. Dr. med. W. Spann

Tag der mündlichen Prüfung: 8. Februar 1977



INHALTSVERZEICHNIS

A. EINLEITUNG	Seite
1.1 Ziel und Aufgabenstellung	3
B. GRUNDLAGEN	
2.1 Anatomische Überlegungen	5
2.2 Physikalische Grundlagen	10
2.3 Technische Geräte der Untersuchung	12
C. VERSUCHE	
3.1 Systematik des Versuchsablaufs	16
3.2 Charakteristik der verwendeten Ultraschallsonde	17
3.3 Versuche mit der Phantomwirbelsäule	23
3.4 Untersuchung an Leichen	27
D. ZUSAMMENFASSUNG	29

LITERATURVERZEICHNIS

LEBENSLAUF

ANHANG mit fotografischem Bildmaterial

A. EINLEITUNG

1.1 ZIEL UND AUFGABENSTELLUNG

Ziel der Untersuchung sollte es sein, den Versuch zu unternehmen, die Möglichkeiten des Ultraschalls auch für die Diagnostik der unteren Wirbelsäule nutzbar zu machen. (LÁHODA)

Dabei wurde von der Verwendung des Ultraschalls in der Echoenzephalographie, wie sie von G.KRAMER (11), LÁHODA und NEUNDÖRFER (13) sowie LÁHODA und LUND (12) und SCHIEFER und KAZNER (21) angegeben wurden, ausgegangen. Ähnlich wie für das Gehirn sollte eine Diagnoseform in ihren Grundzügen erprobt werden, die den Patienten nicht mehr beeinträchtigt, als dies durch die meist sowieso notwendige Lumbalpunktion (ENGELHARDT (8)), wie sie 1891 von QUINCKE (20) angegeben wurde, geschieht.

Die Untersuchung soll dazu führen, veränderte anatomische Situationen - traumatischer (Frakturen, Ödeme) oder entzündlicher bzw. degenerativer Genese - aus denen vielfach ein lumbaler Prolaps der Bandscheibe resultiert (BRAUN (2), JOCHHEIM e.a. (10) und BÜRKLE DE LA CAMP (4)), anhand von Messungen genau lokalisieren zu können.

Die Entwicklung eines derartigen Verfahrens wäre nicht nur von technisch-theoretischem Wert, sondern es könnte eine wesentliche Ergänzung zum Röntgenbild - Nativbild und Myelogramm - bedeuten.

Um das Ziel einer Ultraschall-Untersuchung des Spinalkanals zu erreichen wurden Messungen allgemeiner Art an einer Phantomwirbelsäule und an Leichen durchgeführt. Die Messungen wurden in der Art der Lumbalpunktion vorgenommen, da sich diese Methode zur direkten Untersuchung (OSTADAL (18, S.175)) als Mittel der Wahl anbot und seit rund 80 Jahren ihren Platz in der Schulmedizin behauptet hat.

Die Begründung einer Erprobung eines derartigen Ultraschallverfahrens wird erhärtet durch die Tatsache, daß die Jodölinjektion nach SICHARD und FORRESTIER (angegeben 1922) nicht immer ausreichend Klärung bringt und eine Kontrastinjektion mit Dimer X^R nicht immer komplikationslos verläuft (DÖSTELMANN und HAUKE (6)).

B. G R U N D L A G E N

2.1 ANATOMISCHE ÜBERLEGUNGEN

Ausgehend von der Erkenntnis, daß es möglich ist, aus diagnostischen und therapeutischen Gründen in den Subarachnoidalraum (Intrathekale Punktion) mit einer Kanüle einzugehen, um Liquor zu entnehmen (QUINCKE (20)) oder um Lösungen zu injizieren, ergab sich die Fragestellung, ob es möglich sei, an Stelle der Injektionsnadel eine ähnlich geformte Ultraschallsonde bis in diesen Raum vorzuschieben und von den intraspinalen Strukturen Echos zu empfangen. Als praktische Durchführung wurde hier analog zur Lumbalpunktion unter dem Processus Spinosus des 3. Lendenwirbels mit dem Ultraschallkopf eingegangen.

Nach den Untersuchungen von GERSTENBERG und HEIN (in 5) wird der ganze Subarachnoidalraum von Caudawurzeln eingenommen. Erst bei der kyphotischen Körperhaltung des Patienten verlagern sich die Nerven zu Bündeln nach links und rechts, so daß der Medianraum freigegeben wird.

Somit bietet sich ein freier Raum, in den eine Punktionskanüle oder ein ähnlich geformter Ultraschallkopf eingeführt werden kann, ohne Verletzungen zu setzen. BODECHTEL (3) schreibt über die Gefahr einer Verletzung: "Die Berührung oder Verletzung einer Kaudalfaser durch die Injektionsnadel innerhalb des Lumbalsackes ruft momentan schmerzhaftes Sensationen, im Projektionsgebiet der Nervenwurzel hervor. Ein segmental bleibender Ausfall dürfte wohl einer falschen Injektionstechnik zur Last zu legen sein."

Auch andere Autoren (BRAUN (2), OSTADAL (18)) verneinen bei kunstgerechter Durchführung bleibende Schäden. Nur bei Kindern beschreibt BODECHTEL einen postpunktionellen nucleus pulposus Prolaps (3, S. 805), hält Wurzelschädigungen bei Erwachsenen aber für seltene Ausnahmen. Demnach ist es naheliegend, daß eine einer Punktionskanüle analog geformte Ultraschallsonde beim Eindringen in den intrathekalen Raum ebenfalls keine Schäden setzt.

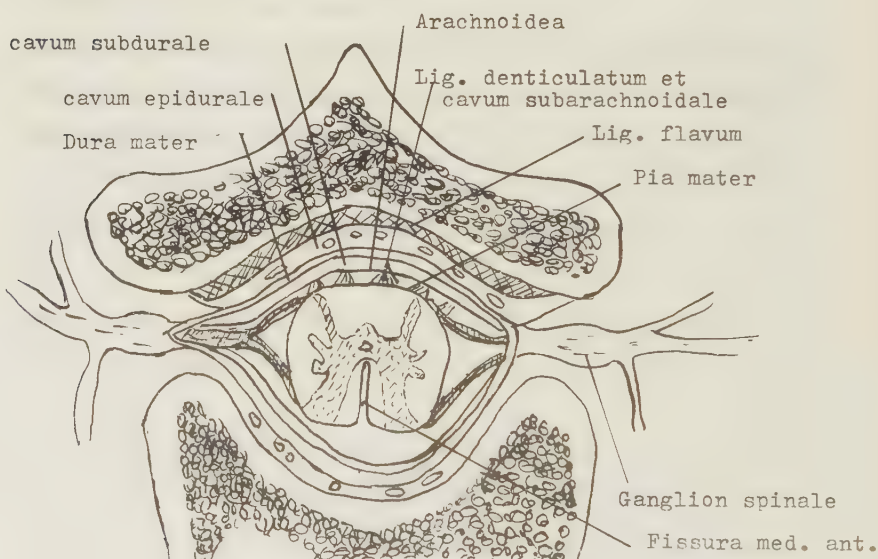


Abb. 1 Querschnitt d. Wirbelkanals bei Th 2 (nach Waldeyer)

Nach Durchstoßen des derben ligamentum interspinale und des ligamentum flavum wird das cavum epidurale erreicht und nach

Durchdringen der dura mater spinalis und der arachnoidea gelangt man in das darunter liegende cavum subarachnoidale (s. Abb. 1). Die Entfernung von der Oberfläche beträgt ca. 5 - 7 cm. Dieser Hohlraum ist mit Liquor gefüllt, so daß eine Ultraschallmessung von der Schalleitung her möglich ist.

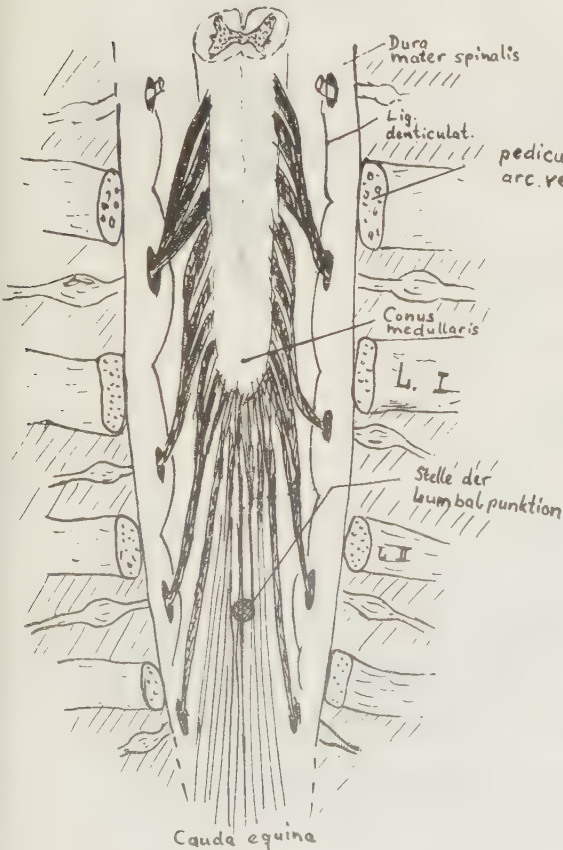


Abb. 2

Myelum und Cauda equina (von dorsal eröffnet, nach Waldeyer)

In Höhe des ersten Lumbalwirbelkörpers endet nach SOBOTTA-BECHER (22) der conus medullaris der Frau; beim Mann meistens etwas tiefer in Höhe der caudalen Ebene des gleichen Wirbelkörpers.

Die Sonde und der Conus medullaris liegen so nahe beieinander, daß der conus schon im Meßbereich liegt und damit Anlaß zu Reflexionen des auftreffenden Ultraschallbündels geben wird (Abb. 2).

Anatomische Strukturen im unteren Lumbalbereich (z.B. conus medullaris, Caudafasern) können ebenso wie in den Wirbelkanal hineinragende Strukturen

z.B. disci intervertebrales, sowie Teile von Wirbelbögen, wenn sie senkrecht vom Ultraschallstrahl getroffen werden, zu Ultraschall-echos Anlaß geben.

Dieser Sachverhalt wird von der Skizze Abb. 3 nochmals an zwei Lendenwirbeln dargestellt.

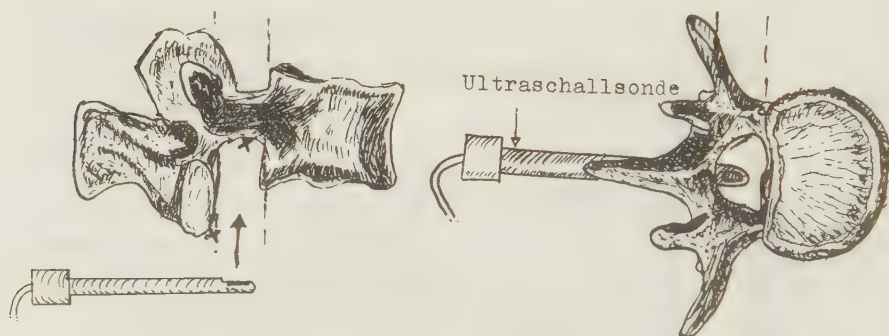


Abb. 3

Die Lage des Ultraschallkopfes während der Messung (links in Seitenansicht, rechts in Aufsicht von cranial).

Da die Punktion zwischen dem Lendenwirbelkörper (LWK) 2 mit Lendenwirbelkörper 5 möglich ist, ein Wirbelkörper eine longitudinale Ausdehnung von ca. 2 cm hat und das Ultraschallgerät eine Reichweite von ca. 18 cm hat, wird die Untersuchungsmöglichkeit von 4 - 5 Wirbelkörpern pro Punktion gegeben sein.

Der für die Punktion zur Verfügung stehende Raum reicht vom Intervertebralraum L5/S1 bis zum Lendenwirbelkörper 2, was anatomisch einer Strecke von ca. 10 cm entspricht.

Somit umfaßt der Meßbereich theoretisch den gesamten Lumbalbereich bis in Höhe der unteren Brustwirbelsäule.

Abb. 4 zeigt als Beispiel eine Meßstrecke über drei Wirbel in der Ansicht von lateral.

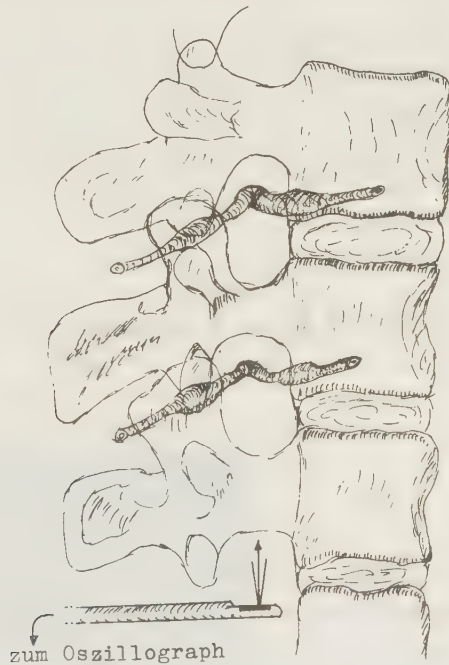


Abb. 4

Wirbelsäule, austretende Wurzeln mit Meßsonde im Spinalkanal

2.2 PHYSIKALISCHE GRUNDLAGEN

Bei den physikalischen Grundlagen des verwendeten Ultraschallgerätes wird primär die Tatsache ausgenützt, daß eine Schallwelle an einer Grenzfläche zweier Medien in die Einfallsrichtung reflektiert wird, wenn die Welle etwa senkrecht auf die Grenzfläche auftrifft.

Dieses akustische Alltagsphänomen, das sich mit der Reflexion des Lichtes an einer Glasfläche vergleichen läßt, gilt besonders auch für den Ultraschallbereich (von 20 kHz bis 1 GHz). Dieser Bereich ist von Bedeutung, da bei einer höheren Frequenz die Wellenlänge kleiner wird. Denn es gilt:

$$c = \lambda \times f$$

wobei

c = Schallgeschwindigkeit

c = 330 m/s in Luft

c = 1500 m/s in Liquor

c = 1570 m/s in Blut

λ = Wellenlänge

f = Frequenz

"Die Möglichkeiten der scharfen Bündelung des Ultraschalls erlaubt das Experimentieren mit Ultraschallstrahlen, mit denen eine Art Schalloptik nach den bekannten Gesetzen der Brechung, Beugung und Reflexion betrieben werden kann", schreiben LENK und GELLERT (15).

Während bei der Röntgentechnik ein Objekt zweidimensional auf einer Fotoplatte (oder Leuchtschirm) nach Länge und Breite ohne große Ver-

zerrungen abgebildet wird, wird beim Ultraschall (in der hier verwendeten eindimensionalen sogenannten Zeit-Amplituden-Darstellung) die Entfernung von Ultraschallquelle zu reflektierender Fläche gemessen. Die an einer Grenzfläche entstehenden Reflexionen können auf einem Oszillographen in Form von zackenförmigen Auslenkungen (Abb. 5) des Elektronenstrahles aus einer Horizontalen (die der Nulllinie entspricht) sichtbar gemacht werden. Durch Messung der Zeit, die vom Absenden des Schallimpulses bis zur Rückkehr des reflektierten Schallsignals auf die Ultraschallsonde benötigt wird, ist bei bekannter Schallgeschwindigkeit die Entfernung von der Schallsonde bis zur reflektierenden Fläche zu bestimmen nach der Formel:

$$s = \frac{\Delta t}{2} \times v$$

wobei

s = Weg (Sonde - reflektier. Flächen)

Δt = benötigte Zeit

v = Schallgeschwindigkeit

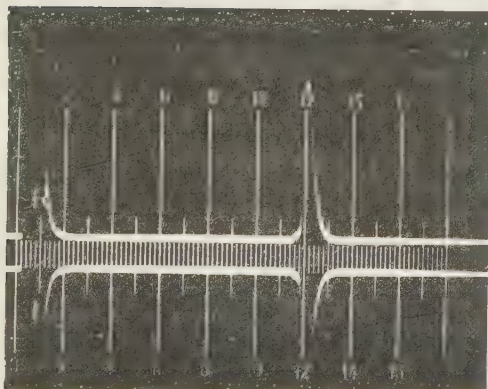


Abb. 5

Echogramm mit Echo
bei 11,8 Sekt.

2.3 TECHNISCHE GERÄTE DER UNTERSUCHUNG

Eine technische Apperatur, die auf den Erkenntnissen von DUSSIK (7) und LEKSELL (14) mit der Echoenzephalographie beruht, stellt die Firma Siemens mit der Bezeichnung "Echo-Enzephalograph System Krautkrämer" und in einer neueren voll transistorisierten Version als "Echo-Enzephalograph T" her (s. Abb. 7 a). In diesem Gerät ist eine Braun'sche Röhre als Anzeigegerät, ein Hochfrequenzgenerator sowie ein Empfangverstärker und eine elektronische Umschaltvorrichtung vereint. An das Gerät ist über einen Steckkontakt ein Ultraschallkopf anzuschliessen. Bei dem Schallkopf handelt es sich um ein piezoelektrisches Quarzkristall, das mit einer bestimmten Rhythmik als Sender und Empfänger für den verwendeten Ultraschallkopf dient. Die empfangenen Echoimpulse von den reflektierenden Grenzflächen werden über einen Empfangverstärker der Kathodenstrahlröhre zugeführt (s. Abb. 7b).

Die Frequenz des Hochfrequenzteils ist zwischen 1 und 4 MHz variabel und hat eine Impulsdauer von 1 ms. Die Impulsfolge beträgt 250 Hz; es werden also 250 Impulse mit einer Dauer von 1 ms in einer Sekunde ausgesandt. Die Empfangszeit beträgt dementsprechend (bei Vernachlässigung der Umschaltzeit) 3 ms.

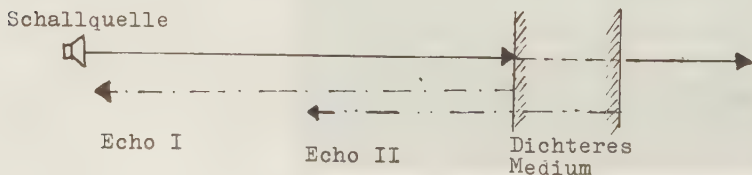


Abb. 6

Schema der Entstehung eines Echos.

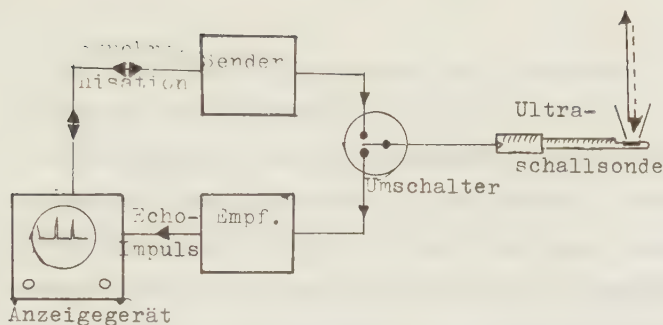


Abb. 7 b Prinzip des UEG-Gerätes

$$\text{Das Tastverhältnis} = \frac{\text{Taktdauer (Tr)}}{\text{Impulsdauer (\tau)}}$$

$$\text{wobei } f_r = \frac{1}{T_r} \text{ ist (} f_r = \text{Impulsfolgefrequenz)}$$

gibt Aufschluß über das Verhältnis der Spitzenleistung P_s zur mittleren Leistung $\bar{P}$, denn es gilt

$$\frac{P_s}{\bar{P}} = \frac{T_r}{\tau} \quad \text{nach FINK (9)}$$

Die Taktdauer beträgt demnach 4 ms, die Impulsdauer 1 ms, daraus folgt das Tastverhältnis mit 4:1. Bei einer Impulsleistung von etwa 5 mW errechnet sich die mittlere Leistung $\bar{P}$ zu 1,25 mW, was nach Herstellerangaben ausreicht, ein Gewebe bis auf 18 cm Tiefe zu untersuchen.

Wie schon ausgeführt, soll mit dem Ultraschall ein Echo der zu untersuchenden Struktur erzeugt werden und dieses auf einem Kathodenstrahl-oszillographen möglichst so dargestellt werden, daß daraus gleich eine Entfernung abgelesen werden kann. Diese Möglichkeit ist durch Anlegen einer sog. Sägezahnspannung an die Ablenkelektroden gegeben.

Die Spannung wird genauso lange gesteigert, (d.h. der Elektronenstrahl läuft so lange nach rechts) wie ein Echo vom entferntesten Punkt des Meßbereiches benötigen würde, um den Empfängerschallkopf zu erreichen; danach bricht die Spannung zusammen und fängt am Punkt "Null" wieder an. (Der Elektronenstrahl springt also für das Auge unsichtbar vom äußerst rechten Bildschirmrand an den Ausgangspunkt links wieder zurück.) Hierdurch besteht die Möglichkeit einer Eichung, und es kann demnach eine Entfernung vom Punkt "Null" auf dem Bildschirm einer Entfernung im Gewebe (in Millimetern) gleichgesetzt werden. Am Gerät kann an einer Skala die Entfernung vom Ultraschallsender zur reflektierenden Grenzfläche bis zu einer hohen Genauigkeit direkt in Millimetern abgelesen werden.

Als Schallkopf wurde in diesem Versuch nicht der großflächige Standardprüfkopf verwendet, da dieser für eine intrathekale Messung von den Dimensionen her nicht geeignet ist. Es kam ein spezieller sondenförmiger Ultraschallkopf zur Anwendung. Die Form war stabförmig, ca. 14 cm lang, mit einem Durchmesser von 3,5 mm. Am unteren Ende ging der runde Querschnitt in einen halbrunden über. In die plane Fläche wurde ein piezoelektrischer Ultraschallgeber (BARONE (1)) eingearbeitet.

Die Größe der schallaussendenden Fläche betrug in der Längsrichtung 2,5 mm und in der Breite 2,0 mm. - Im Vergleich hierzu sei erwähnt, daß der Durchmesser des bei der Echoenzephalographie verwandten Schallkopfes 15 mm beträgt.

Am oberen Ende des Schallkopfes (s. Abb. 7) war in einer griffartigen Verdickung der Steckkontakt für das elektrische Zuleitungskabel eingelassen.

Inwieweit sich die Sonderanfertigung der Firma Krautkrämer - in der eben beschriebenen und skizzierten Form - bewährt und wo unter Umständen Modifikationen zu erarbeiten sind, wird Gegenstand des letzten Kapitels dieser Arbeit sein. Von besonderem Interesse ist auch die Frage, ob die Abstrahlfläche - zu Gunsten einer gemessenen Richtcharakteristik - die zur Lokalisierung wertvolle Dienste leisten könnte - noch vergrößert werden sollte oder der Abstrahlwinkel durch bestimmte Vorrichtungen eingeschränkt werden sollte.



Abb. 7 c

Schematische Darstellung des sondenförmigen Ultraschallkopfes

(Abb. 7 a im Anhang)

Testprotokoll

Gerätebezeichnung: Ultraschall-Meßsonde

(Dr. Hermann Hopman, Klinikum Großhadern, Neurologische Klinik)

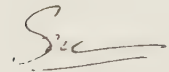
Prüfzweck: Bestimmung der Ultraschall-Strahlenbündelung

Prüfbedingungen:	Frequenz	5 MHz
	Impulssignalstärke bei Erzeugung	28 V (ss)
	Pulsfenster	12/ μ s
	Impulssignalstärke bei Reflexion	ca. 20 mV (ss)
	Pulsfenster	2,5/ μ s
	Leitmedium	Wasser
	Reflektor	nadelförmig
	Meßbereich	x-Richtung 2 bis 15 mm
		y-Richtung $\pm$ 3 mm
		z-Richtung in der Mitte

Ergebnis: - gemessene Nahfeldentfernung $z_0 = 5$ mm,
- gemessene Fernfeldwinkel zwischen Randstrahl und Achse
= $3,5^\circ$ (am 3 dB Meßpunkt).

Bemerkung: - die Meßsonde wurde ohne Anschlußkabel geprüft,
- das Anschlußkabel ist nicht in Ordnung.

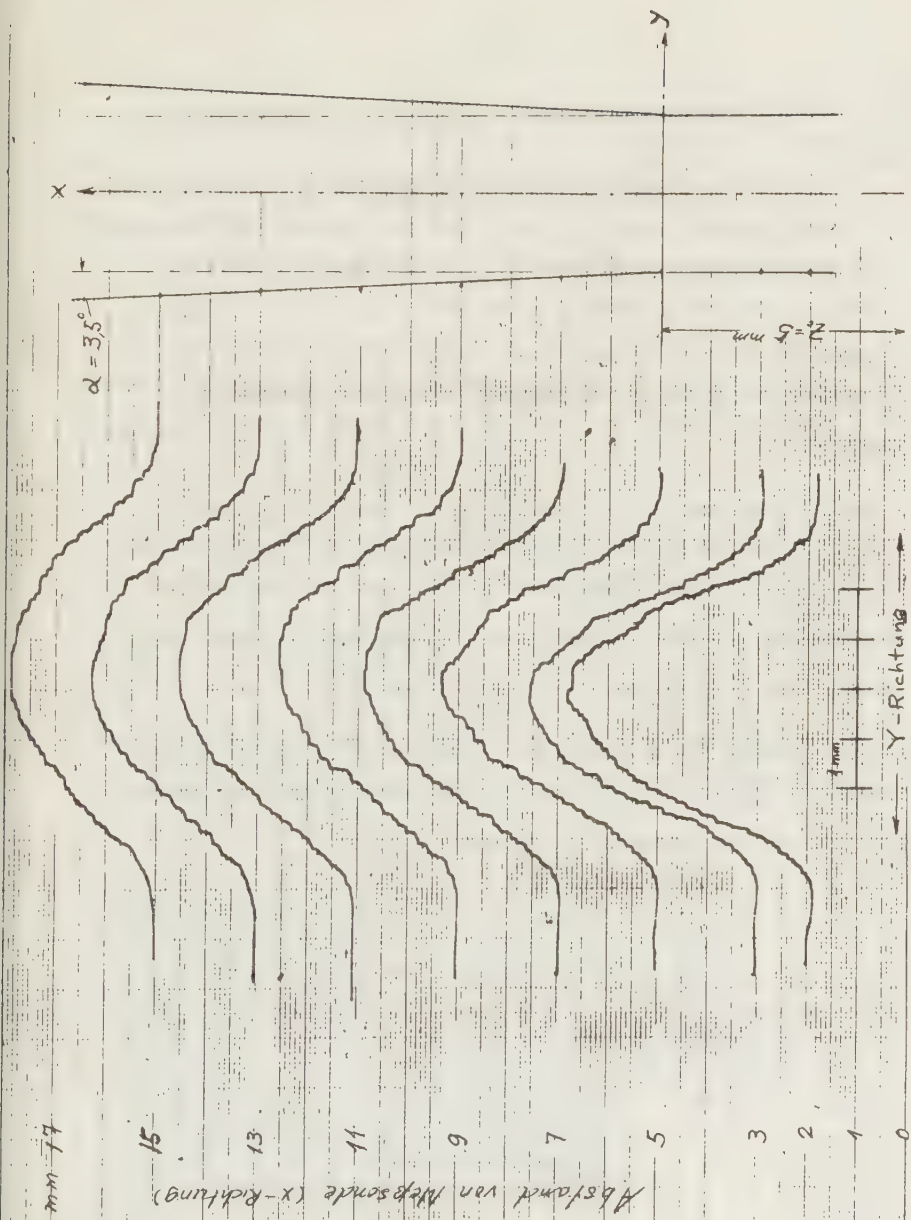
EEG 2



Dr. Sun

Anlage

1 Meßkurven-
bogen



Meßkurvenbogen zur Sonde von Dr. Lehnoda

C. V E R S U C H E

3.1 SYSTEMATIK DES VERSUCHSABLAUFS

Die Lumbalpunktion stand Modell - wie in der Einleitung schon erwähnt - für den Versuch mit einer Ultraschallsonde die Ultraschallreflexe von Strukturen (disci intervertebrales, Wirbelbögen, Wirbelkörper, Knochenleiste, Nervenwurzeln) der Wirbelsäule zu untersuchen.

Hierzu sollten zunächst die physikalischen Eigenschaften des verwendeten Ultraschallgerätes anhand einer experimentellen Versuchsanordnung überprüft werden.

Anschliessend sollte versucht werden, anhand einer Phantomwirbelsäule eine Übersicht der zu erhaltenen Echoreflexionen zu gewinnen.

Nach erfolgter Zuordnung zu den Wirbelstrukturen wurden die Messungen an Leichen vorgenommen, in der Absicht, das Echospektrum um die neuralen Anteile zu erweitern.

3.2 CHARAKTERISTIK DER VERWENDETEN SCHALLSONDE

Zur Eichung und Überprüfung der Schallsonde wurde in einer wassergefüllten Wanne eine Metallplatte in unterschiedlicher Entfernung von einer, an einem Stativ befestigten Ultraschallsonde, aufgestellt.

Die Reflexionen von der Metallplatte wurden auf den mit einer Skaleneinteilung versehenen Oszillographen als Auslenkung des Elektronenstrahls registriert.

Als Leitmedium des Ultraschalls wurde Wasser gewählt, da dieses in der Konsistenz und Schalleitungsgeschwindigkeit dem Liquor ähnlich ist (spez. Gewicht 1003 - 1007 - 1009 g/l nach OSTADAL (18)).

Bei einem eingestellten Prüfbereich von 100 mm und einer Verstärkung von 1 (bei Typ Siemens-Krautkrämer Echoenzephalograph) ergab sich folgendes Diagramm:

Skalenteile (Skt)	18	17	16	15	13,5	13	12	10	9	8
Meßreihe										
I(mm)	91	83	79	72	65	62	57	49	40	37
II(mm)	91	82	79	76	64	62	61	46	40	37
III(mm)				76			60	48		

Tab. I Skaleneichung

Skalenteile (Skt)	6,7	6,6	5	4,5	4	3	2
Meßreihe							
I (mm)	30	28	22	20	16	12	7
II (mm)	30	29	23	20	16,5	12	6
III (mm)		29					7

Tab. I Skaleneichung - Fortsetzung

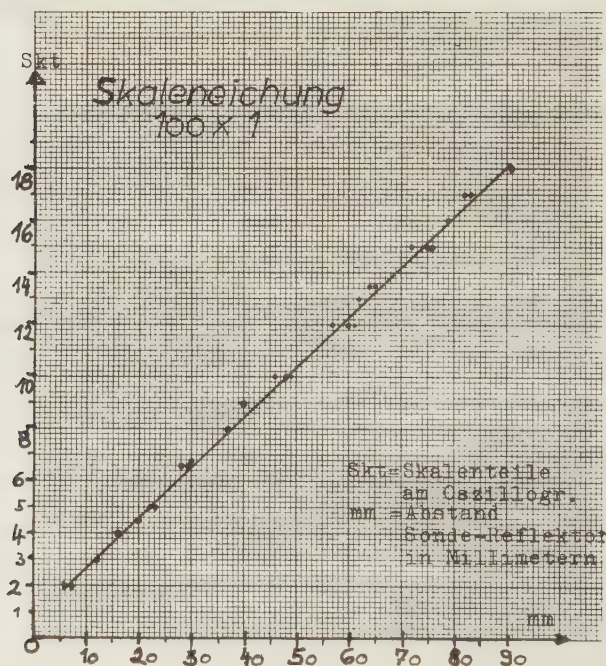


Abb. 8

Eichkurve der Ultraschall-Sonde im Wasserbad.

Wie aus der Graphik ersichtlich, besteht eine lineare Beziehung zwischen den bioptisch gemessenen Werten der Entfernung Sonde-Metallplatte in Millimetern und den damit jeweils korrespondierenden Positionen des Auslenkpunktes des Elektronenstrahls am Oszillographen ausgedrückt in Skalenteilen.

Nebenstehende Figur stellt den Versuchsaufbau für die Überprüfung der Entfernungsmessung mit dem stabförmigen Ultraschallkopf dar.

Abb. 9

Versuchsanordnung zur Ermittlung der Eichkurve

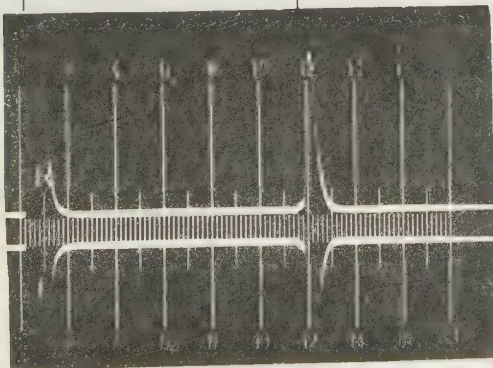
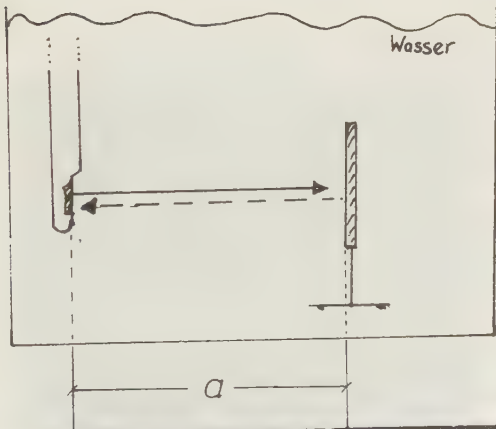


Abb. 10

Darstellung der Schall-Reflexion von der Metallplatte wie in

Abb. 9

Bei Beschallung der Metallplatte, wie in Fig. 9 dargestellt, läßt sich auf dem Kathodenstrahloszillographen bei gegebenem Abstand zwischen Ultraschallsonde und Metallplatte ($a = 11,8$ Skt.) eine Reflexion entwerfen.

Mittels einer Polaroidkamera kann das auf dem Oszillographen entstandene Bild festgehalten werden. Wie aus der Abb. 10 hervorgeht, zeigt sich ein deutliches Initialecho, welches nach LÁHODA (12) und SCHIEFER-KAZNER (21) durch Überlagerung des Sendeimpulses entsteht.

Dieses Initialecho ist auch durch Veränderung des Maßstabes und der Verstärkung nicht zu eliminieren, wohl aber in seiner Größe variabel.

Das bedeutet, daß direkt vor dem Schallkopf keine Messung möglich ist. Strukturen, die weniger als 8 mm von dem Prüfkopf entfernt sind, können nicht von dem Initialechokomplex getrennt werden.

Da es grundsätzlich möglich ist, von verschiedenen hintereinander gelagerten Grenzflächen durch Beschallung mit einem Ultraschallbündel eine Reflexion zu bekommen, haben wir in einer weiteren Versuchsanordnung diese Möglichkeit bei der von uns verwendeten Ultraschallsonde geprüft.

Auf einer Metallscheibe wurde eine 5 mm dicke Schicht einer plastischen Knetmasse aufgetragen. Wie aus Abb. 12 ersichtlich ist, ließ sich diese Versuchsanordnung auf dem Bildschirm durch eine Reflexion bei 10,8 und 11,8 Skt. darstellen.

Die Reflexion bei 10,8 Skt. entspricht dem optisch gemessenen Abstand Sondevorderkante - Plastilin = a respektive Reflexion bei 11,8 Skt. im Abstand Sondevorderkante - Metallplatte = b .

Die Reflexionen entstehen jeweils an der Grenzfläche Wasser-Plastilin, resp. der Grenzfläche Plastilin-Metall. Unter Berücksichtigung der Eichkurve ist anhand der Skalenteile die Entfernung zwischen der Grenzfläche Sonde-Plastilin resp. Grenzfläche Sonde-Metall in mm zu bestimmen.

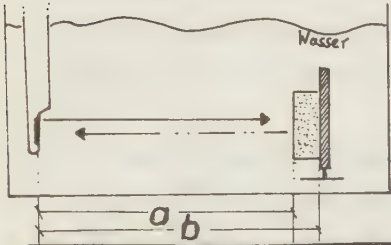


Abb. 11

Versuchsanordnung zur Darstellung von 2 Strukturen mit verschiedener Schallgeschwindigkeit

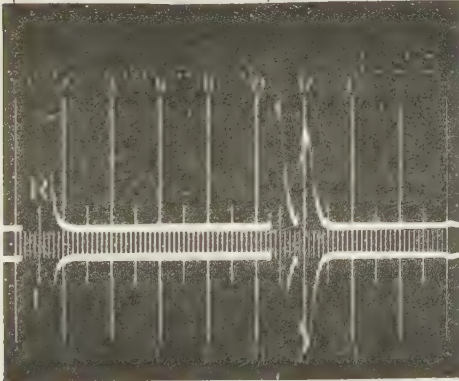


Abb. 12

Oszillographenbild zur Versuchsanordnung Abb. 11

Um eine Vorstellung von einem Körper zu gewinnen, dessen räumliche Ausdehnung hintereinander liegende Echos erwarten läßt, wurde die Ultraschallsonde in einer Ebene fixiert und ein geeigneter U-förmiger Stab (Kunststoff) in dieser Ebene in verschiedenen Entfernungspositionen beschallt. Die einzelnen Echos wurden fotografisch und durch Mehrfachbelichtung in einer Aufnahme vereint.

Das Echobild stellt Abb. 13 dar. Jeweils 2 Zacken (die einem "M" nicht unähnlich sind) repräsentieren die Reflexionen einer Position, wobei die beiden Spitzen jeweils die beiden Schenkel des U-förmigen Stabes darstellen und als konstantes Maß für die Entfernung 4 mm anzusehen sind.

In der Abb.13a sind verschiedene Positionen des Kunststoffstabes dargestellt. Die Entfernung Sonde - Kunststoffstab wurde metrisch bestimmt und mit den ultraschalltechnisch registrierten Abständen verglichen. Die Ergebnisse entsprechen einander. Die Messung wurde sowohl mit einem Meßbereich von 100 wie auch mit einem Meßbereich von 200 durchgeführt, wobei hier die Schwäche der Impulse an den geringen Amplitudenausschlägen zu erkennen ist.

3.3 VERSUCHE MIT DER PHANTOMWIRBELSÄULE

Eine genaue, größengetreue Kunststoffnachbildung einer menschlichen Wirbelsäule wurde in eine wassergefüllte Wanne gelegt. Von dorsal wurde zwischen dem 4. und 5. Lendenwirbelkörper die stabförmige Ultraschallsonde so eingeführt, daß das Schallbündel in der Mittelachse des Wirbelkanals nach cranial gerichtet ist (s. Abb. 4).

Sowohl durch die Divergenz des Ultraschallbündels als auch durch die unebene Wandung des knöchernen Wirbelkanals stellt sich der Phantomwirbelkanal nicht als echoloser Raum dar.

Es sind auf dem Oszillographen Echogramme, wie in Abb. 14

(bis 18) zu erkennen. Da in etwa senkrecht zum Schallbündel stehende Strukturen registrierbare Reflexionen entwerfen (wie oben dargestellt), entstehen diese Reflexionen von Knochenleisten, Arci der Wirbelkörper, sowie von den in das Lumen ragenden Disci intervertebrales. Dabei ist es vielfach möglich, daß nicht nur von dem Eintrittsecho einer kompakten Knochenstruktur, sondern auch von der Rückseite ein Austrittsecho entsteht.

Um eindeutig zu demonstrieren, daß eine Struktur im Wirbelkanal (sofern sie senkrecht steht) eine definierte, reproduzierbare Reflexion auslöst, wurde in den Kanal von lateral zwischen den Lumbalwirbelkörpern 2 und 3 eine U-förmige Kunststoffschiene hineingeschoben
s. Skizze Abb. 15

Die beiden Schenkel des U-Stäbchens waren 1 mm dick und 2 mm voneinander in der Mitte entfernt.

Nach dem Einbringen des Stäbchens in den Wirbelkanal waren theoretisch 2 zusätzliche Reflexionen zu erwarten, nämlich von der dem Schallkopf nahen Fläche und der dem Schallkopf abgewandten Fläche, an der das Schallbündel das Kunststoffstäbchen wieder verläßt bzw. reflektiert wird.

Das entsprechende Oszillographenbild wurde, in Abb. 15-18 dargestellt, fotografisch registriert.

Bei weiteren Messungen, bei denen das U-förmige Stäbchen über die Disci intervertebrales L 4/3, L 3/2 und über dem Korpus von L 2 plaziert wurde, ergaben sich in den ansonsten der leeren Wirbelsäulen-Aufnahme gleichenden Echobild, die charakteristischen Echos des U-Stäbchens, so wie sie schon von der Abb. 13 (Nagelbrett) bekannt sind. Diese künstlichen, markanten Reflexionen lagen bei den verschiedenen Aufnahmen in unmittelbarer Nähe von Reflexionen von anatomisch bekannten Strukturen.

Die künstlichen Echos dienten somit im weiteren Verlauf als Fixpunkte für eine allgemeine Zuordnung von anatomischer Struktur zum Echobild.

Da aus den vorhergehenden Experimenten bekannt war, daß durch den Ultraschall die Strukturen und Abstände in einem linearen Maßstab auf dem US-Echogramm wieder gegeben werden, wurde nun versucht, durch eine Verkleinerung sowohl einer Skizze als auch einer fotografischen Aufnahme dieses Wirbelsäulenabschnittes auf die Maße, die durch die Fixpunkte gegeben waren (im fotografisch registrierten Echogramm) eine Beziehung zwischen beiden herzustellen.

Nachdem beide Aufnahmen - Echogramm und anatomische Wirbelsäule - übereinander angeordnet waren, konnten durch Einzeichnung des Lotes auf die Nulllinie des Oszillographenbildes sowohl die Stäbchenechos als auch alle anderen Echos mit der entsprechenden anatomischen Struktur verbunden werden (Abb. 19).

So wird die prominente Auslenkung bei 10,4 Skalenteilen durch eine senkrecht zur Strahlrichtung stehende Fläche am arcus vertebrae des 3. Lumbalwirbels hervorgerufen; das Echo bei 3,5 Skt. wird durch eine ähnliche Fläche am 4. Lendenwirbel verursacht.

Besonders aufschlußreich ist das Zusammenfallen der Auslenkung bei 18 Skt. auf dem Bild der leeren Wirbelsäule (Abb. 14) mit der Auslenkung bei 18 Skt. auf Bild 18. Hier wurde an dem Ort einer natürlichen Reflexionsbildung ein markantes, künstliches Echo ausgelöst. Da die Position des U-Stäbchens in der Wirbelsäule und die damit korrespondierende Reflexion im Echogramm bekannt waren, war daraus zu folgern, daß von der danebenliegenden Struktur des 2. Lendenwirbelbogens ebenfalls ein Echo (eben das bei 18 Skt. im Leerfoto) ausgelöst wurde.

Ähnlich war auch die Situation, die auf Abb. 15 dargestellt ist.

Auch dabei war ein natürliches Echo in der leeren Wirbelsäule bei 14,2 Skalenteilen zu erkennen, das durch Einschub eines Stäbchens in Höhe der caudalen Artikulationsfläche von L 2 noch verstärkt werden konnte (Abstand zur Sonde 70 mm),

Auch die Aufnahmen aus früheren Meßbereichen, bei denen statt des U-förmigen Stäbchens ein konisches Röhrchen verwendet wurde, bestätigen die Möglichkeit das Echogramm mit der anatomischen Situation in Verbindung zu bringen.

Durch Schräghalten des stabförmigen Schallkopfes oder durch Verkanten ist es sehr leicht möglich, mit dem zentralen Schallbündel von der Mittelachse des Wirbelkanals abzukommen und damit die Reichweite der Reflexion zu verkürzen.

Bei zunehmender Divergenz Wirbelsäulenachse - Ultraschallbündel nimmt die total reflektierte Energie soweit ab, daß durch Absorption und Reflexion keine Auslenkung des Elektronenstrahls mehr erfolgen kann bzw. eine Verzerrung des erhaltenen Oszillographenbildes (Echogramm) auftritt. Hierdurch ist eine Interpretation bzw. Zuordnung von Reflexionen zu anatomischen Strukturen nicht mehr möglich (Abb. 20).

Aus der oben beschriebenen Versuchsanordnung geht hervor, daß eine Zuordnung des Echobildes zu der entsprechenden anatomischen Struktur zumindest in der Phantom-WS. möglich ist. Da ein starker Bandscheibenprolaps etwa einer Situation entspricht wie in Bild 15 simuliert, (in dem das U-Stäbchen von lateral auf den discus aufgelegt wurde - somit den Discus in das lumen hinein verlängerte) - sollte das letztliche Ziel der Untersuchung, die Diagnostizierung eines Prolapses, durch die Ergebnisse am Phantom untersucht werden.

3.4 UNTERSUCHUNG AN LEICHEN

Eine Fortführung der Untersuchung wurde im Pathologischen Institut der Universität München (Vorstand Prof. Dr. med. M. Eder und Vorstand der Abt. für Neuropathologie beim Path. Inst. Prof. Dr. med. O. STOCKDORPH) in der Zeit vom 21.2.1975 bis 28.4.1975 an 11 Leichen durchgeführt.

Im Sinne der Lumbalpunktion wurde präoperatorisch ein Zugang zum Wirbelkanal bei L 3 - L 4 geschaffen, in den die US-Sonde von dorsal eingeführt wurde.

Auch durch das Einschieben eines metallischen Stäbchens, das ein künstliches Echo erzeugte, konnte keine hinreichende Klarheit im Reflexionsbild als Anhaltspunkt für eine Zuordnung zu anatomischen Strukturen gewonnen werden.

Die Vielzahl von Echos in dieser Versuchsanordnung wird in den Fotos Abb. 22 und Abb. 23 dargestellt.

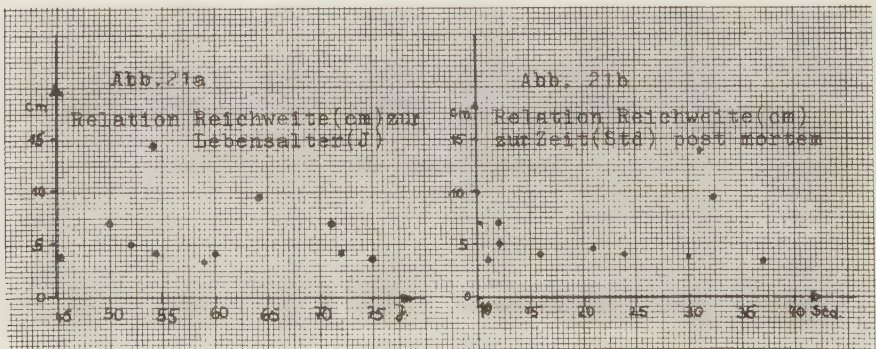
Es zeigt sich jedoch eine gewisse Systematik bei allen Echogrammen. Durch Verkanten oder Verdrehen der Sonde fielen einige Echos der mittleren oder fernen Reflexionsbereiche aus bzw. wurden stark verkleinert, so daß kein interpretierbares Echogramm gewonnen wurde.

Eine gewisse Periodik der Echos ist aber auf den dargestellten Bildern zu erkennen. Die Ultraschallreichweite erschien in verschiedenen Fällen recht unterschiedlich und reichte von 3 - 14 cm.

Für die weitere Untersuchung wäre eine Myelographie während der Ultraschalluntersuchung, eine Röntgen-Übersichtsaufnahme und eine detaillierte Präparation der Wirbelsäule unter Beachtung der Veränderungen im Ultraschallbild notwendig. Eine Überprüfung der Krankengeschichte zur Ausschaltung von pathologischen Zuständen der Wirbelsäule erscheint hierbei ebenso von Bedeutung, als auch die Beurteilung des Einflusses der unterschiedlichen Leichenstarre (PROKOP (19) WALCHER (23)).

In den pathologisch anatomischen Untersuchungen ergab sich der Verdacht, daß eine gewisse Beziehung zwischen Reichweite des Ultraschallbündels im Spinalkanal und dem Zeitpunkt der Ultraschalluntersuchung - post mortem - besteht (Fig. 21a und 21b).

Eine eindeutige Veränderung der Reichweite des Ultraschall-Bündels in Bezug auf den Zeitpunkt der Untersuchung - post mortem - konnte aber nicht eindeutig festgestellt werden.



D. ZUSAMMENFASSUNG

Ausgehend von der Überlegung, daß eine Lumbalpunktion den Patienten bei korrekter Durchführung nur gering beeinträchtigt, galt es zu untersuchen, ob nicht das Einbringen einer US-Sonde an Stelle der Punktionsnadel diagnostische Hinweise auf einen Bandscheibenprolaps liefern würde.

Nachdem die Charakteristik der Sonde und eine Eichung der Oszillographendarstellung der Reflexionen durchgeführt wurde, folgten Untersuchungen an einer Phantomwirbelsäule.

Die Sonde wurde zwischen L 4/5 von dorsal eingeführt - senkrecht zur Wirbelkanalmittelachse - und die Reflexionen auf der Bildröhre fotografisch registriert. Zur Identifizierung der einzelnen Echos wurde ein U-förmiges Stäbchen von dorsal bzw. lateral an bestimmten Stellen in den Kanal eingeschoben, was zu markanten Auslenkungen im Echogramm führte. Damit waren einige Fixpunkte im Reflexionsbild gewonnen, die es ermöglichten, eine exakte Korrelation zwischen topografischem Bild des lumbalen Wirbelsäulenabschnittes und dem Echogramm dieser Region herzustellen.

Im Pathologischen Institut der Universität München wurde die Untersuchung mit gleicher Versuchsanordnung an Leichen fortgeführt. Der dorsale Wirbelsäulenzugang wurde präparatorisch geschaffen, die Sonde bei L 3/4 und L 4/5 in den intrathekalen Raum eingeführt und teilweise auch kranial der Punktionsstelle Metallstäbchen als Markierung in diesen Raum vorgeschoben.

Dabei ergab sich eine Vielzahl von Echos, die eine Interpretation nicht mehr zuließen.

Wenn es technisch möglich wäre, das Ultraschallbündel zu konzentrieren und zu parallelisieren - wobei der piezoelektrische Sendequarz physikalische Grenzen setzt - wäre eine Präzisierung der Zuordnung der erhaltenen Reflexionen aus einer natürlichen Wirbelsäule wahrscheinlich.

Ausgehend von dem Prinzip der optischen Beurteilung des Gastro-Intestinaltraktes durch Endoskopie bietet sich die Idee einer Inspektion des Intrathekalen Raumes und seiner Wandbegrenzung bzw. Bandscheibenvorfalls mit einem flexiblen Fiberglasstab an.

Durch die Untersuchungen von MEIRE (17) mittels des zweidimensionalen Echoultraschallverfahrens wird eine weitere Möglichkeit zur Untersuchung des Spinalkanals beschrieben, welche jedoch eine genaue Beurteilung des intrathekalen Raumes in dem bisherigen Stadium noch nicht zuläßt.

Durch die Neuentwicklung der Ganzkörperpertomographie ist eine andere Möglichkeit der Darstellung des intraspinalen Raumes gegeben. Auch bei dieser Methode scheint vorerst durch das geringe Auflösungsvermögen die Zuordnung von aufgezeichneten Dichteunterschieden, insbesondere von den knöchernen Strukturen, die den Spinalkanal begrenzen, die Lokalisation eines Prolapses disci intervertebrae nicht möglich.

Vorerst bleibt bei der Diagnostik eines Bandscheibenvorfalles die lumbale Myelographie die Methode der Wahl.

Für die freundliche Unterstützung bei der Durchführung dieser Arbeit möchte ich mich bei Prof. Dr. med. M. Eder und Prof. Dr. med. O. Stochdorph, beide Pathologisches Institut, für die Arbeitserlaubnis in ihren Räumen und bei Dr. med. Empt vom Neurologischen Konziliardienst für die Bereitstellung des Ultraschall-Echoenzephalographen und bei Oberpräparator Oldenbourg für die Hilfe bei der Auswahl der Leichen bedanken.

Herr Dr. Kresse, Firma Siemens AG., Erlangen, war dankenswerterweise so freundlich, die physikalische Charakteristik der Ultraschallsonde zu überprüfen.

Mein herzlicher Dank gilt Dr. med. H. Hopman, Neurologische Poliklinik Großhadern, der mir bei der Verarbeitung der Versuchsergebnisse beratend zur Seite stand.

Mein besonderer Dank gebührt Priv. Doz. Dr. med. F. Láhoda, Neurologische Klinik und Poliklinik Großhadern, (Direktor: Prof. Dr. med. A. Schrader) für die Überlassung des Themas.

LEBENS LAUF

Als erstes Kind des Elektroingenieurs Karl-Heinz Greifenhagen und dessen Ehefrau Käte, geb. Ilseemann, wurde ich am 22. März 1948 in Uelzen/Niedersachsen geboren.

Die Volksschulzeit stand im Zeichen häufigen Wohnungswechsels, bedingt durch die berufliche Situation des Vaters. So besuchte ich die Volksschulen in Ahaus/Westf., Leopoldstal/Lippe und Fürth/Bayern.

In das Gymnasium trat ich 1958 in Nürnberg ein und wechselte 1961 an das Kaspar-Zeuß-Gymnasium in Kronach über. An dieser Schule absolvierte ich 1968 mein Abitur.

Nach zweijähriger Bundeswehrzeit nahm ich im Herbst 1970 zunächst das Studium an der Juristischen Fakultät München auf.

Im Frühjahr 1971 erhielt ich die Zulassung zum Studium der Zahnmedizin.

Im Frühjahr 1974 legte ich die Zahnärztliche Vorprüfung in München mit Erfolg ab. Das Staatsexamen für Zahnmedizin werde ich voraussichtlich im Sommer 1976 in der Poliklinik für Zahn-Mund- und Kieferkrankheiten, München, ablegen.

Im Jahr 1969 heiratete ich die kaufmännische Angestellte und heutige Studentin der Zahnmedizin Marie-Louise Wicklein. Im Herbst 1969 kam meine Tochter Astrid zur Welt.

H. Greifenhagen

Hans-Helmut Greifenhagen

8044 Lohhof, im März 1976

LITERATURVERZEICHNIS

In alphabetischer Reihenfolge der erstgenannten Autoren

- 1 BARONE A.: Generation, Detection and Measurement of Ultrasound in Handbuch der Physik Band XIII/2 Hrsg.: S. Flügge, Berlin Springer Verlag 1974
- 2 BRAUN W.: Ursachen des Lumbalen Bandscheibenvorfalls Stuttgart, Hippokrates-Verlag 1969
- 3 BODECHTEL: Differentialdiagnose neurologischer Krankheitsbilder, Stuttgart, Thieme-Verlag, 1974 3. Auflage
- 4 BÜRKLE DE LA CAMP H.: Das Bandscheibenleiden Frankfurt /M., Umschau-Verlag, 1960
- 5 BUMKE O. und FORRESTIER O.: Handbuch der Neurologie Bände III, VII/2, XIV, Berlin Springer-Verlag, 1935, 1936, 1937
- 6 DÖSTELMANN D. und HAUKE P.: Lumbosacrale Myographie mit Kontrastmittel (Dimer X) in Zeitschrift f. Neurologie, Berlin Springer-Verlag, Band 204, S. 225 ff, 1973
- 7 DUSSIK K.: Über die Möglichkeit hochfrequente, mechanische Schwingungen als diagnostisches Hilfsmittel zu verwenden, in Z. ges. Neurol. Psychiatr. 174 S. 153 - 168, Jahrgang 1942
- 8 ENGELHARDT P. und PATZOLD E.: Analysen von Liquor zum Nachweis von Tumorzellen, in Zeitschrift f. Neurologie, Band 209, Berlin Springer-Verlag, 1975
- 9 FINK C.: Einführung in die Radartechnik
- 10 JOCHHEIM, LOEW, RÜTT: Lumbaler Bandscheibenvorfall Springer-Verlag, Berlin 1961
- 11 KRAMER G.: Die Echoenzephalographie in Dtch. Med. Wochenschrift 89, S. 564-567, 1964

- 12 LÁHODA F. und LUND: UEG-Fibel, München
J.A. Barth.
- 13 LÁHODA F. und NEUNDÖRFER: Ultraschallechoenzephalographie in
Klin. Wschr. 16, S. 849 - 856, 1968
- 14 LEKSELL L.: Echo-Enzephalography acta chir. scand.
110, S. 301 - 315, 1956
- 15 LENK R. und GELLERT W.: Fachlexikon Physik Bd. II, Frankfurt/M.
H. Deutsch-Verlag 1974
- 16 NOLTINGK E.: The Effects of Ultrasonics in Liquids
in Handbuch d. Physik, Bd. II
Hrsg.: S. Flügge, Berlin, Springer-Verlag, 1974
- 17 MEIRE H.B.: in Medical Tribune Nr. 40, Fr. 3.10.75
- 18 OSTADAL J.: Biopsie und Punktion
München, J. A. Barth 1966
- 19 PROKOP O.: Lehrbuch der gerichtlichen Medizin
Berlin, Verlag Volk u. Gesundheit, 1960
- 20 QUINCKE: zit. nach O. Bumke
- 21 SCHIEFER W. und KAZNER E.: Klinische Echoenzephalographie mit Einführung
in die akustischen Grundlagen v. W. Güttner
Berlin 1967, Springer-Verlag
- 22 SOBOTTA-BECHER: Atlas d. Anatomie d. Menschen, 3. Teil
16. Aufl. Berlin-München, 1969
Urban-Schwarzenberg-Verlag
- 23 WALCHER K.: Gerichtliche Medizin
Leipzig, J.A. Barth Verlag 1950
- 24 WALDEYER A.: Anatomie d. Menschen I, 6. Aufl.
Berlin, de Gryter, 1969

Abb.13
(s.S.22)

Versuchsaufbau und Echo-
bild des U-förmigen Stabes
-Maße des Querschnittes in
Millimetern-

Doppelte Wandreflexion er-
gibt eine doppelte Aus-
lenkung des Elektronen-
strahls.

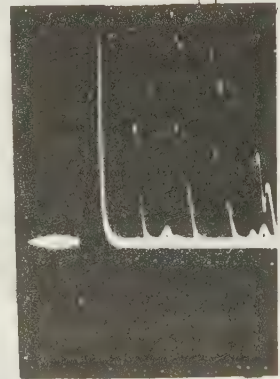
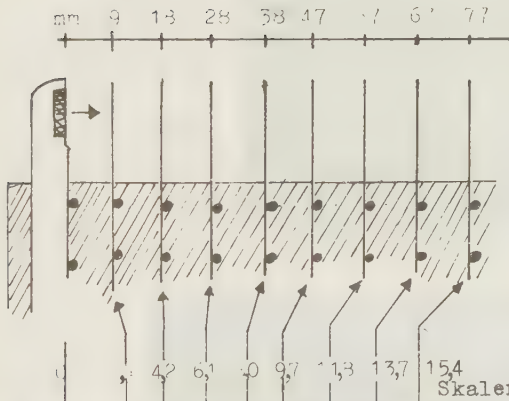
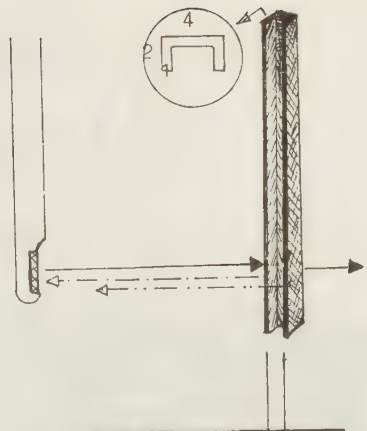
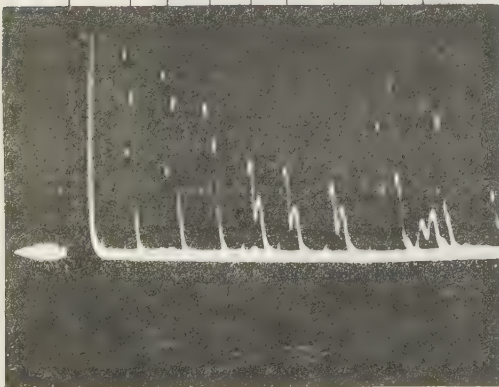
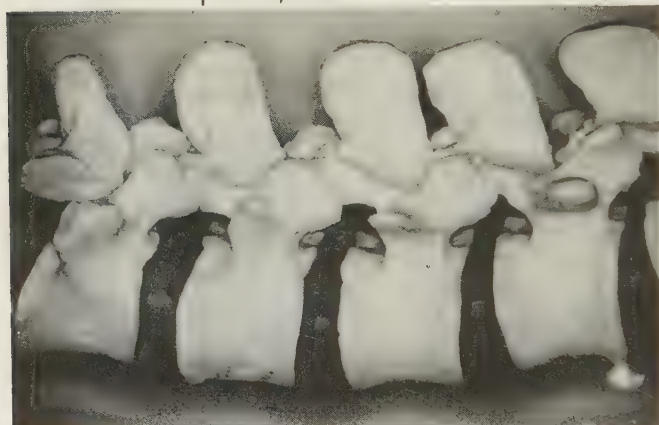
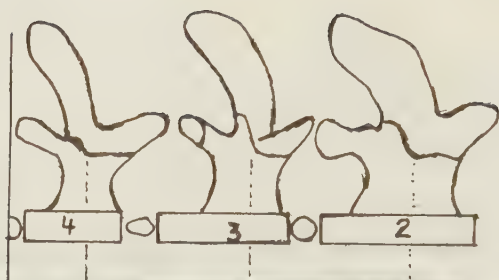


Abb.13a "sog.Nagelbrett"
(s.S.22)

Verschiedene Positionen
des Stabes mit Angabe der
entsprechenden Skalenteile
und der korrespondierenden
metrischen Einteilung.

(dazu auch Foto im Dokumen-
tationsteil)



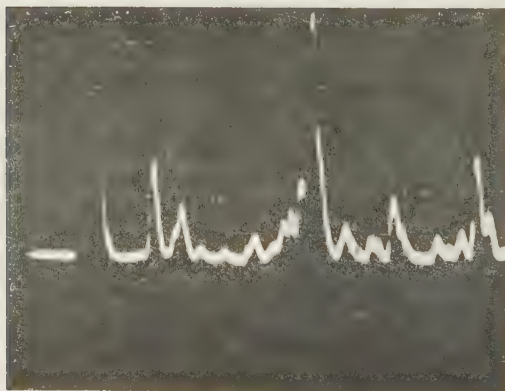


52 70 mm

Abb.14

Echogramm,
Foto und
Skizze der
leeren Wirbel-
säule(sog.

Leerfoto) zu
Seite 23



Ultraschall-
Sonde

U-Stäbchen

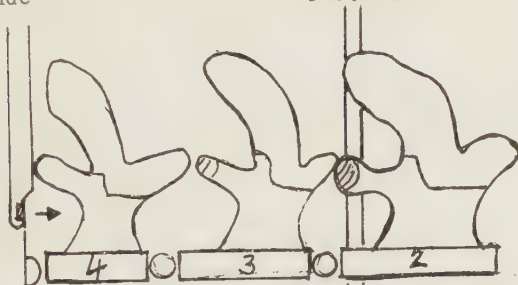
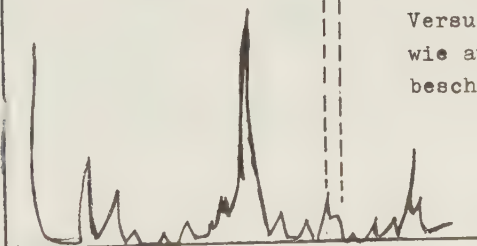


Abb.15

Versuchssituation
wie auf Seite 23
beschrieben



Leerecho-
gramm zum
Vergleich

30 50 70 80 mm Entfernung

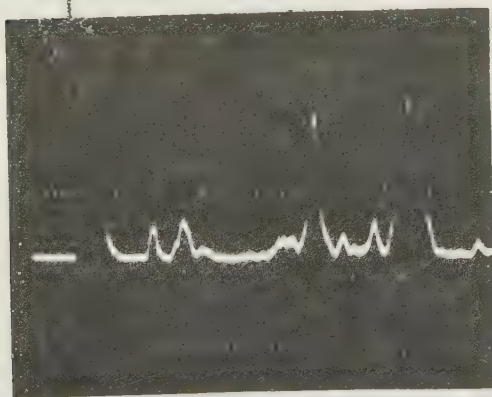
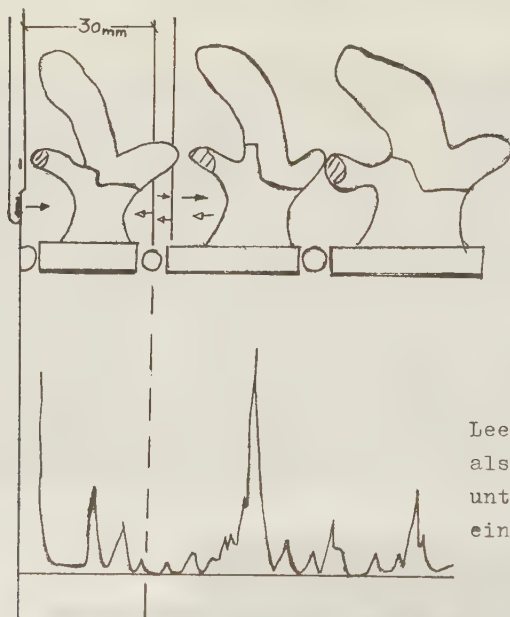


Abb.16

Versuchssituation wie auf Seite 24 beschrieben.

Ultraschall-
sonde U-Stab



Leerechogramm(s. Abb.14)
als Vergleich zu dem
unteren Echobild mit
einem "Künstlichen" Echo

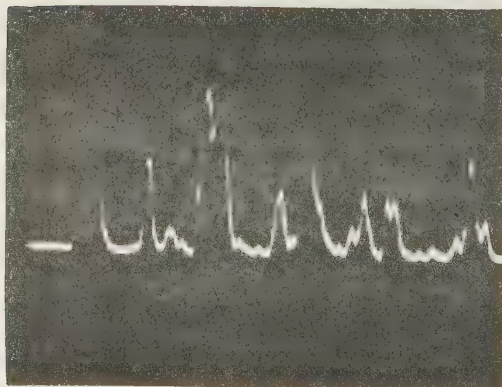
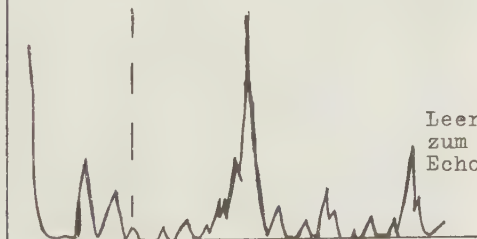
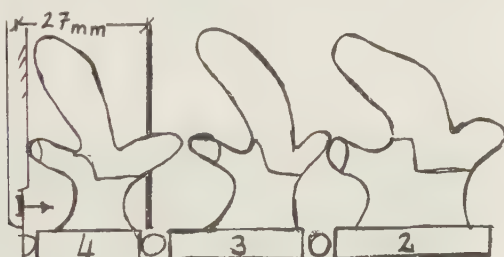
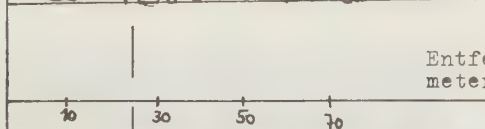


Abb.17 Situation wie bei Abb.16, jedoch mit massivem
 Ultraschall- Rundstab als Reflektor
 sonde Stab



Leerechogramm (s. Abb. 14)
 zum Vergleich mit unterem
 Echobild



Entfernung in Milli-
 metern

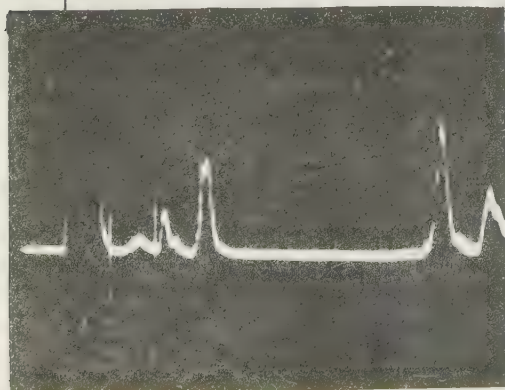
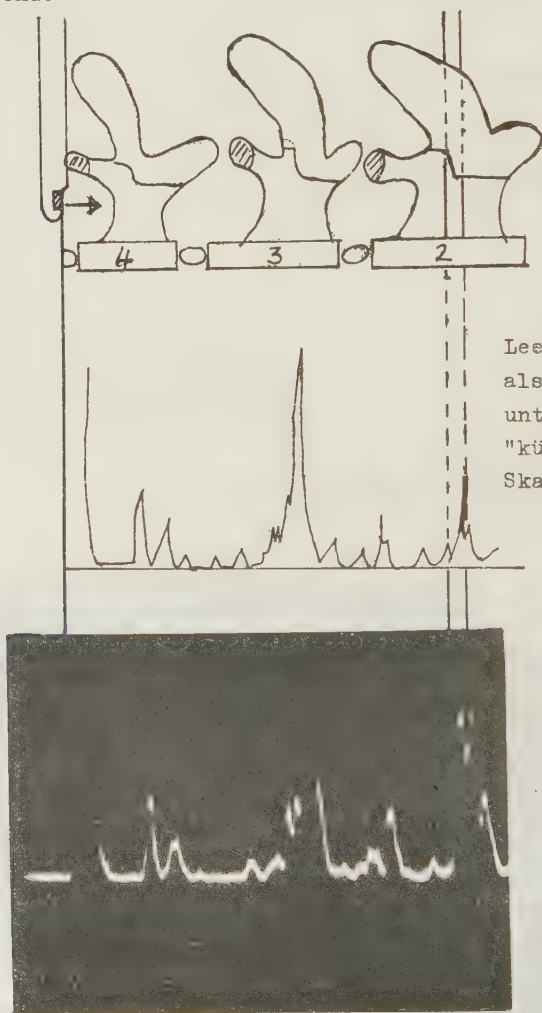


Abb.18

Versuchssituation wie auf Seite 25 beschrieben.

Ultraschall-
sonde

U-Stab



Leerechogramm (s. Abb.14)
als Vergleich zu dem
unteren Echobild mit dem
"künstlichen" Echo bei 18
Skalenteilen.

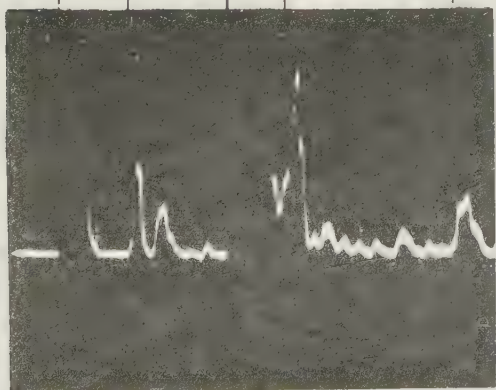
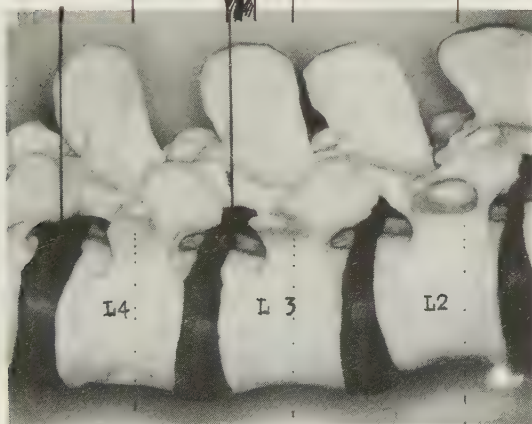
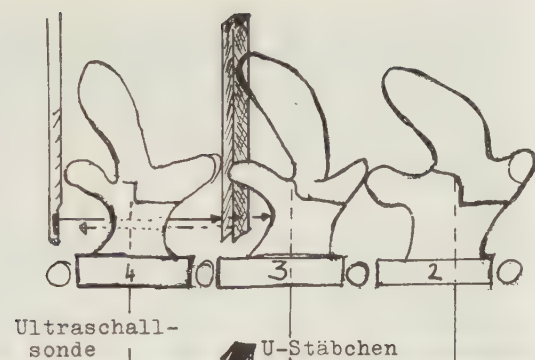
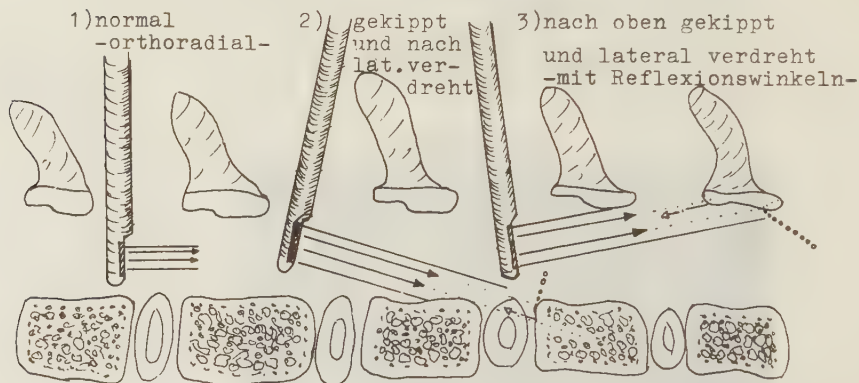


Abb. 19
Korrelation von
Echogramm zu
anatomischen
Strukturen

Abb. 20

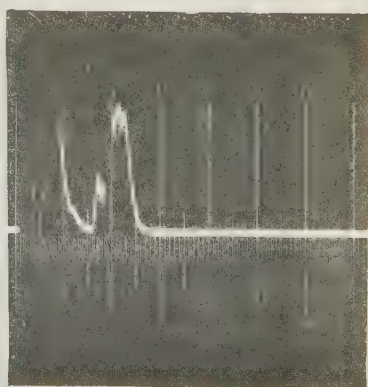
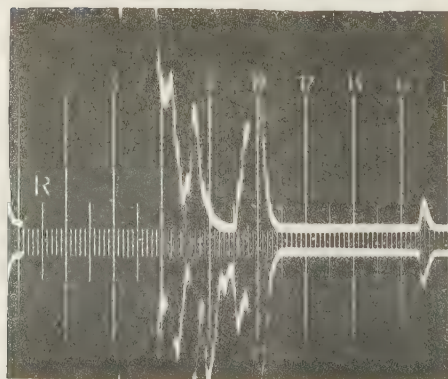
(s.S.26)

Einfluß der achsengerechten Position der Sonde auf
die Reflexionen der Strukturen.



Auswirkung der Sondenposition auf das Echogramm;
links in orthoradialer Position, rechts in gekippter
Position(III/5, III/6).

Der Einfluß auf die Reichweite der Reflexionen ist
deutlich erkennbar.



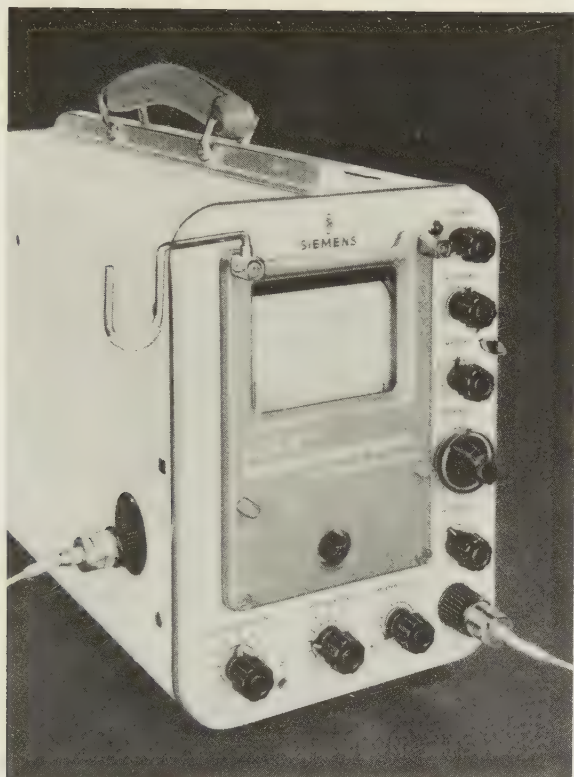


Abb. 7a (s.S.15)

Echo-Enzephalo-
graph System
Krautkrämer
(Foto Siemens)

Abb.22 (100x1,III/8)
Echogramm der Leichenuntersuchung

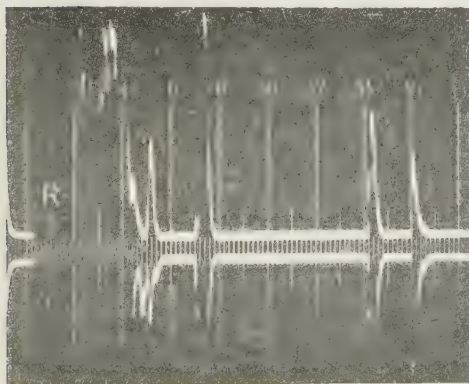


Abb.23
(100x1,VI/10)

